

## APPSOIL: Una herramienta informática para la dosificación de espuma de azucarera como enmienda de suelos

A. García-Zamarreño<sup>1</sup>, G. Maté<sup>1</sup>, J. Guzmán<sup>1</sup>, R. López<sup>2</sup>, C. Piedra<sup>3</sup>, M. García<sup>3</sup>

<sup>1</sup> AB Azucarera Iberia, Avda. Manoteras, 46, 28050-Madrid, [ana.garcia@azucarera.es](mailto:ana.garcia@azucarera.es)

<sup>2</sup> Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, IRNAS-CSIC, Avda. Reina Mercedes 10, 41080-Sevilla, [rafael.lopez@csic.es](mailto:rafael.lopez@csic.es)

<sup>3</sup> Valorizaciones Orgánicas Agrícolas S.L.

### Resumen

La espuma de azucarera (CARBOCAL®) es un subproducto de la fabricación de azúcar constituida fundamentalmente por carbonato cálcico (>30% CaO+MgO). Como tal, la normativa de fertilizantes española la considera una enmienda caliza, pudiendo ser usada como corrector de pH en suelos ácidos. Sin embargo, en su precipitación se ocuyen diversos compuestos orgánicos, sulfatos y formas inorgánicas de fósforo por lo que tiene además un moderado contenido orgánico y de otros elementos fertilizantes. Numerosos ensayos realizados desde 1959 han mostrado que esta combinación de elementos orgánicos e inorgánicos confiere a la espuma de azucarera otras propiedades y efectos interesantes entre los que pueden citarse: efectos positivos en las propiedades físicas del suelo, incremento en la disponibilidad de fósforo, no sólo a suelos ácidos sino también neutros, incremento en el suministro de nitrógeno al cultivo por activación de la mineralización del N del suelo, aumentos del Ca y Mg disponibles, efecto supresor de la pudrición de raíz de remolacha por el hongo *Aphanomyces cochlioides* y de *Plasmiodiaphora brassicae* (clubroot, hernia de la raíz de las crucíferas).

Este trabajo presenta la herramienta informática AppSoil desarrollada para el cálculo de la dosificación de espuma de azucarera, y otras enmiendas orgánicas. Partiendo del análisis del suelo a enmendar, la aplicación calcula la dosis de espuma requerida por hectárea, teniendo en cuenta tipo de riego y modificación del pH que se pretende conseguir. Además, la herramienta devuelve el incremento en nutrientes que aporta la espuma y su valor económico, comparando con los precios de fertilizantes. Se muestran diversos ejemplos de aplicación de espuma de azucarera en varios suelos y tipos de cultivos y los resultados obtenidos.

Palabras clave: subproducto, enmienda caliza, nutrientes, dosificación, fertilización

### APPSOIL: An APP for dosing sugar-lime as soil amendment

#### Abstract

Sugar lime (CARBOCAL ®) is a co-product of the production of sugar consisting mainly of calcium carbonate (> 30% CaO + MgO). The regulations of Spanish fertilizers consider it a liming which can be used as a pH corrector in acidic soils. However, its precipitation in organic compounds occluded as saponins, proteins, oxalates, pectins, citrate, malate, sulfates and inorganic forms of phosphorus at a moderate further showing content and other organic nutrients.

Numerous tests conducted since 1959 have shown that this combination of organic and inorganic elements gives the sugar lime properties and other interesting effects. Some results are: positive effects on soil physical properties (increased permeability and hydraulic conductivity, decrease of modulus of rupture, less possibility of crusting and overall easier cultivation). As well as this there is increased availability of phosphorus, not only in acidic but also in neutral soils, increased supply of nitrogen to the crop by activating the mineralization of N in the soil, increases in available Ca and Mg and a suppressive effect of beet root rot by the fungus *Aphanomyces* and *Plasmiodiaphora cochlioides brassicae* (Clubroot, hernia root of crucifers).

This paper presents the software tool AppSoil, developed for calculating dosing sugar lime, topsoil and other organic amendments. Based on analysis of the soil to be improved and the crop that will be grown there, the application calculates the required dosage of lime per hectare, taking into account the type of irrigation and the change in pH to be achieved. In addition, the tool returns the increase in nutrients that the lime brings to the soil and its economic value compared to the market prices of various fertilizers. It shows various examples of sugar lime application in diverse types of soil and crops and the results obtained.

Keywords: by-product, spent lime, nutrients, dosing.

## Antecedentes

La producción de azúcar de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.) se realiza troceando la raíz y extrayendo la sacarosa con agua caliente. Los compuestos no azucarados de la raíz de remolacha también son extraídos durante el proceso, por lo que el jugo contiene impurezas. Muchas de estos no azúcares son separados mediante un proceso de carbonatación con lechada de cal ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) que forma carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ). El  $\text{CaCO}_3$  precipita, ocluyendo los no-azúcares, y es separado por filtración de la solución. El jugo azucarado se procesa a continuación para obtener azúcar cristalizada y melaza. El material precipitado, en su mayoría carbonato cálcico, es un subproducto conocido como espuma de azucarería, que está contemplado como enmienda caliza en el R.D. 824/2005 de 8 de julio de Fertilizantes, y es comercializado como CARBOCAL®. Dutton and Huijbregts (2007) indican que entre las impurezas separadas en el proceso de carbonatación se encuentran compuestos orgánicos como saponinas, proteínas, oxalatos, pectinas y formas inorgánicas de fósforo, magnesio y calcio que tienden a ser completamente separadas. Otros no-azúcares como citrato, malato y sulfatos pueden ser parcialmente separados.

La aplicación de espuma de azucarera como corrector de pH en suelos agrícolas viene realizándose desde hace bastante tiempo, no sólo en suelos ácidos. Brown et al. (1959) encontraron efectos positivos en las propiedades físicas del suelo (permeabilidad y conductividad hidráulica, módulo de ruptura, menor posibilidad de costras) y en la disponibilidad de fósforo al aplicar dosis de hasta 224 t/ha, no sólo a suelos ácidos sino también neutros. Sin embargo, los efectos positivos fueron observados por estos autores desde dosis más reducidas, de unas 22 t/ha. La dosis habitual de aplicación de espuma es normalmente de 11 t secas/ha. En otro estudio con remolacha en un suelo ácido, Brown et al. (1968) observaron una respuesta positiva del cultivo muy marcada, e indicaron que el análisis de peciolo mostró más contenido en nitrato con la aplicación de espuma. No se conoce la disponibilidad de N de la espuma para el cultivo, pero las exigencias de la mayoría de cultivos superan la capacidad de suministro de la espuma. Una aplicación de espuma de 11 t/ha con una concentración de 3.500 mgN/kg incorpora al suelo 35-40 kgN/ha. La efectividad del N indicada por Brown et al. (1968) podría provenir de una activación del proceso de mineralización de N de la propia materia orgánica del suelo favorecida por el aumento del pH. Especialmente ilustrativo resulta el trabajo de Sailsbery and Hills (1987) que usaron en un cultivo de remolacha dosis moderadas (11-22 t/ha) de espuma de azucarera en un suelo pobre y no ácido. La respuesta a la espuma fue igual que con dosis equivalente de fertilizante de fósforo. Las concentraciones de P encontradas por Sims et al. (2010) en espumas de 7 azucareras estadounidenses fueron de 3470 a 7043 mg P/kg. Sims et al. (2010) investigaron los cambios en el pH y el P disponible del suelo en dos ensayos de aplicación con dosis crecientes: en uno de ellos, el pH aumentó lo que indica una continua liberación del P tal como se va disolviendo la espuma; en el segundo ensayo, pH y P-disponible aumentaron tras una campaña de cultivo pero disminuyeron después. Una gran parte del aumento del pH se produjo desde la menor dosis empleada, de unas 6-7 t/ha de espuma, y en la capa superior (7.5 cm) del suelo. El aumento de pH alcanzó 1,0 unidad al año de la aplicación en uno de los suelos. Los resultados de estos ensayos indican que la espuma tiene gran potencial para liberar P a un cultivo. Una aplicación de 11 t/ha aplicaría dosis de P superiores a las de muchas aplicaciones de fertilizantes. En la página web de la American Crystal Sugar Company (ACSC, 2012) se indica que se puede esperar un aumento de 1 mg/kg por cada 2,24 t/ha de espuma aplicada. Se encontraron también aumentos del Ca disponible del 100% sobre el control no encalado. El máximo aumento se observó con una dosis de espuma de 18 t/ha, y dos campañas después seguía siendo un 24% superior. El Mg disponible también aumentó en la capa superficial (7,5 cm) de los dos suelos. Información adicional de estos ensayos puede encontrarse en Sims et al. (2007).

Adicionalmente a los efectos citados antes se ha constatado también efecto supresor de la espuma sobre determinadas fitopatologías. Bresnahan et al. (2000) en ensayos para reducir la persistencia del herbicida imazetapir, observaron que después de tres meses de la aplicación de imazetapir, este estaba biodisponible causando daño a la remolacha, lo que no se observó cuando se

había realizado encalado con espuma. Cuando se adoptó como práctica la aplicación de espuma para reducir la persistencia del herbicida, algunos agricultores observaron una menor incidencia de pudrición de raíz por *Aphanomyces cochlioides* Dresch. Investigaciones posteriores (Bresnahan et al., 2001) indicaron que el aumento del pH del suelo parecía incrementar la capacidad de la remolacha para resistir el efecto del hongo, mejorándose la producción y estando las plantas más sanas.. El estudio de la supresión de este hongo por la espuma ha sido después ampliado en varios trabajos (Windels et al., 2008; Windels et al., 2004, 2005) que recogen ensayos a más largo plazo y en suelos de diferente pH. En estos ensayos se usaron dosis (peso seco) entre 6 y 44 t/ha aplicadas dos campañas antes de la siembra de remolacha. En general, se incrementó el rendimiento de azúcar y decreció el índice de actividad en suelo de *A. cochlioides*. Unas 18 t/ha produjeron un resultado óptimo, aunque el resultado fue bueno ya desde 12 t/ha. Otro patógeno que resulta efectivamente controlado por la espuma es *Plasmodiophora brassicae* (clubroot, hernia, potra o nudo de la raíz de las crucíferas). Una aplicación simple de una dosis de 5 a 33 t/ha de espuma de azucarera en un suelo severamente infestado por este patógeno controló la infección durante un período de 2-3 años (Campbell, 1985). La forma de caliza presente en la espuma parece especialmente efectiva frente a este patógeno.

## Justificación

La espuma de azucarera es un producto cuyo uso agrícola aporta diversos beneficios. Se ha desarrollado un programa informático para calcular la dosificación óptima de espuma de azucarera, entre otras enmiendas orgánicas y de textura, partiendo del análisis del suelo a enmendar, la modificación de pH requerida y las condiciones de cultivo. La herramienta devuelve el incremento en nutrientes que aporta la espuma al suelo y su valor económico, comparando con los precios de mercado de las distintas unidades fertilizantes.

## Esquema general de la herramienta

La aplicación AppSoil es un sistema de base de datos relacional, desarrollada bajo tecnología Web y Java, concretamente J2EE6, siguiendo la arquitectura MVC (modelo-vista-controlador).

En el menú general, el sistema dispone de tres grandes bloques operativos:

- ✓ Cálculo de enmiendas: bloque a través del cual se ejecuta el algoritmo programado de enmienda del suelo, seleccionando el incremento de pH requerido, el tipo de cultivo y el tipo de riego.
- ✓ Mantenimientos: a través de los diferentes submenús, se introducen en el sistema todos los datos analíticos de las espumas y resto de productos enmendantes, así como de los suelos que se quieren mejorar.
- ✓ Algoritmo: en este bloque se realiza el mantenimiento de las tablas maestras de las diferentes variables presentes en los algoritmos programados.



Figura 1. Menú General AppSoil

## Criterios para la dosificación

Las características analíticas medias de la espuma, a partir de muestras de varias factorías españolas tomadas entre 2010-2012 se muestran en la tabla 1. Como carbonato cálcico, el contenido de calcio (+ magnesio) equivaldría aproximadamente a un 56%.

**Tabla 1.** Características medias de la espuma de azucarera

	Humedad	M.Org.	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	VN <sup>2</sup>
%	31,1	6,88	0,218	0,714	0,055	29,6	1,64	28.5
kg/ha <sup>1</sup>	--	47,4	1,5	4,9	0,4	204	11,3	--

<sup>1</sup>Adición por tonelada de espuma/ha; <sup>2</sup>VN: valor neutralizante

Para la recomendación de dosis de espuma en suelos ácidos, con la finalidad de realizar una corrección del pH, se tuvo en cuenta en primer lugar el criterio de Cadahía-López (2005) para corrección del pH de suelos, modificando la dosificación propuesta (función de textura del suelo y pH inicial) por el Valor Neutralizante y la humedad media de las espumas (ambos parámetros fueron poco variables). Además, se realiza un siguiente ajuste de la dosis considerando el efecto de lavado que puede tener el riego sobre el calcio aportado, de forma que el resultado es multiplicado por una factor entre 1-1,4 considerando las diversas modalidades de riego entre secano (FR=1) y riego a manta (FR=1,4).

En suelos neutros (pH 6,5-7,5) se recomienda una adición fija de 2 t/ha, que aportarían 22 kg/ha MgO para compensar las exportaciones de Mg y no alterar significativamente las propiedades de estos suelos.

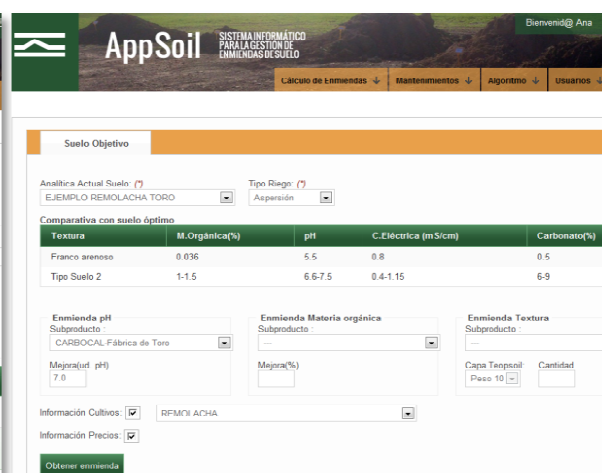
En suelos calizos (> 5% de carbonato cálcico) se recomienda adicionar un 1% del carbonato del suelo para mantener e incrementar el Mg disponible. Esta dosis debe ser considerada como adición máxima.

## Ejecución del programa

En primer lugar, dentro del menú “Mantenimientos”, se ha de informar al programa de los datos del suelo a enmendar, su localización, y su analítica básica. Seguidamente, desde el menú “Cálculo de enmiendas”, se selecciona dicho suelo, y se fijan el resto de variables influyentes en el algoritmo: tipo de riego y cultivo e incremento de pH deseado. Finalmente se ejecuta el algoritmo pulsando el botón “Obtener Enmienda”.



**Figura 2.** Pantalla introducción de datos del suelo objeto de enmienda

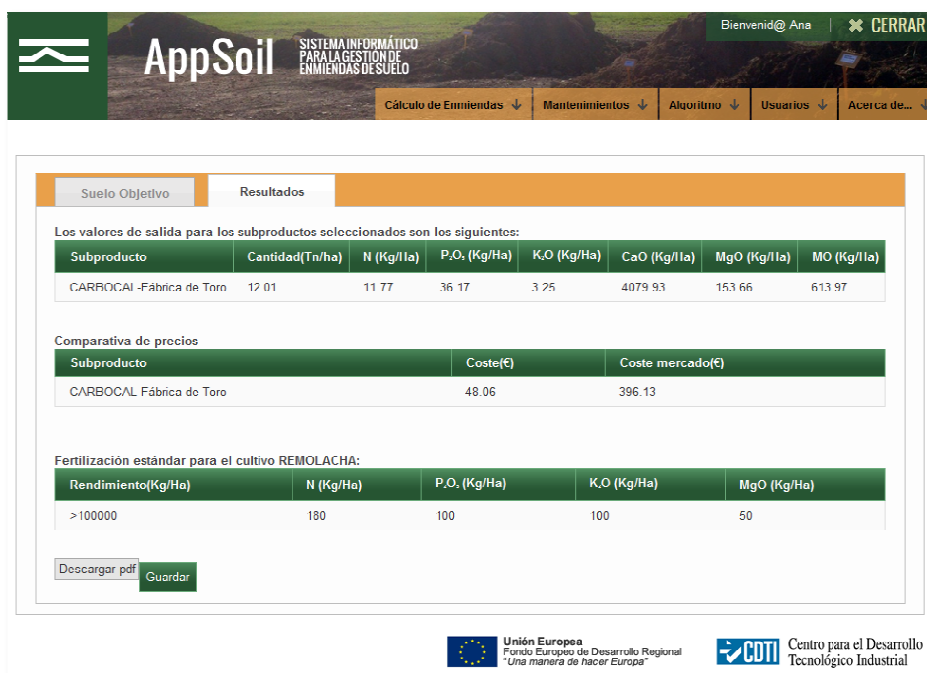


**Figura 3.** Pantalla de cálculo de enmiendas



Como se observa en la Figura 3., la herramienta muestra la dosis a aplicar de espumas en t/ha, para llegar al pH deseado, y además, los kg/ha de N, P, K, Ca, Mg y Materia Orgánica adicionales que se aportarían al suelo con la dosificación de Carbocal calculada. También compara el coste de dichos nutrientes con el precio establecido para las espumas, con lo que el usuario puede ver al ahorro por hectarea que le supondrá el uso de esta enmienda frente al valor de mercado de los diferentes compuestos que contiene.

Figura 3. Pantalla de resultados cálculo dosificación de espumas.



### Algunos ejemplos de aplicación de CARBOCAL. Resultados de ensayos reales.

Vid: los ensayos realizados en el año 2012, dentro del Proyecto Agroeco, fruto de la colaboración entre Azucarera y el Grupo Matarromera, consistieron en la aplicación de Carbocal en cultivo de viñedos localizados en cuatro denominaciones de origen diferentes: Toro, Cigales, Rueda y Rivera del Duero. A continuación se muestran los resultados medios de la evolución de pH (en agua, extracto 1:2,5) y Fósforo (método Olsen) del suelo de las diferentes parcelas, antes de la aplicación de espumas realizada en el mes de marzo y tras la recolección de la uva.

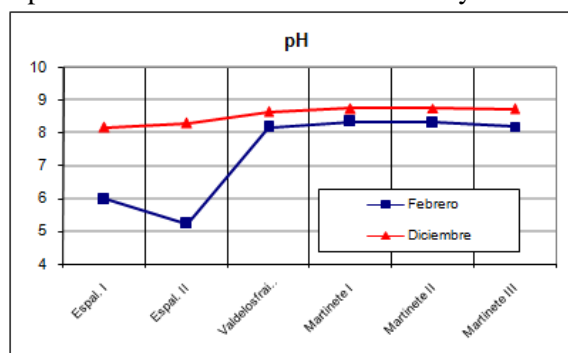


Figura 4. Evolución pH del suelo en viñedo con la aplicación de Carbocal

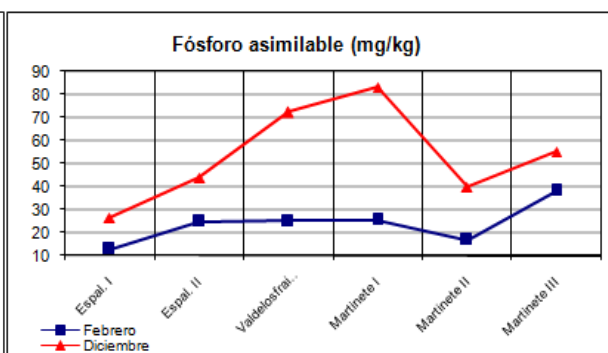


Figura 5. Evolución del P del suelo en viñedo con la aplicación de Carbocal

Los resultados demuestran el efecto positivo de las espumas en cuanto a aporte de fósforo al suelo, así como en el incremento del pH para valores iniciales del mismo menores a 7. Para valores iniciales de pH del suelo superiores, se demuestra el efecto tampón de las espumas, al haberse incrementado muy ligeramente el pH.

**Remolacha:** tras dos años de ensayos de campo utilizando Carbocal como alternativa al abonado de fondo utilizado en el cultivo de la Remolacha (fertilizante mineral 18-46-0), la Asociación para la Investigación y Mejora del Cultivo de la Remolacha Azucarera (AIMCRA), demostró que las espumas de azucarera son un abonado alternativo fosfórico y nitrogenado de fondo, no existiendo diferencia significativa, en calidad industrial de la remolacha, entre aplicar espumas (en dosis entre 10 y 20 t/ha) o realizar un abonado convencional. Los ensayos también ponen de manifiesto el efecto tampón, al observarse cómo el pH no sufre variaciones significativas en las parcelas cuyo valor inicial era elevado.

## Agradecimientos

AppSoil es una herramienta informática cuyo diseño forma parte del Proyecto de I+D “Nuevas Tecnologías para la Valorización de Subproductos”, desarrollado a través del Consorcio constituido por las empresas AB Azucarera Iberia, s.l. y Valorizaciones Orgánicas Agrícolas s.l., y financiado por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI).

## Bibliografía

- ACSC (2012). VersaLime. Vol. 2012.
- AIMCRA. Memorias de los trabajos efectuados en las campañas 2006-2007 y 2007-2008
- Bresnahan, G. A., Dexter, A. G., Windels, C. E., Brantner, J. R., and Luecke, J. L. (2001). Influence of soil pH on *Aphanomyces cochlioides* in sugarbeet. *Sugarbeet Research and Extension Reports* **32**, 264-268.
- Bresnahan, G. A., Koskinen, W. C., Dexter, A. G., and Lueschen, W. E. (2000). Influence of Soil pH-Sorption Interactions on Imazethapyr Carry-over. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **48**, 1929-1934.
- Brown, A. L., Hills, F. J., Krantz, B. A., Nourse, E. F., and Lyons, T. (1968). Greenhouse assays diagnose sugar beet problems in delta soils. *California Agriculture* **22**, 4-5.
- Brown, A. L., Nielsen, T. R., and Halevy, E. (1959). Lime effect on soil properties. *California Agriculture* **13**, 9-13.
- Cadahía-López, C. (2005). "Fertirrigación: Cultivos Hortícolas, Frutales y Ornamentales. ", Mundi-Prensa, Madrid.
- Campbell, R. N. (1985). Factors Related to Control of Clubroot of Crucifers in the Salinas Valley of California. *Phytopathology* **75**, 665.
- Dutton, J., and Huijbregts, T. (2007). Root Quality and Processing. In "Sugar Beet", pp. 409-442. Blackwell Publishing Ltd.
- Sailsbery, R. L., and Hills, F. J. (1987). Waste lime supplies phosphorus to sugarbeet. *California Agriculture* **41**, 17-18.
- Sims, A. L., Windels, C. E., and Bradley, C. A. (2007). Field applications of sugar factory spent lime: Effects on soil phosphorus. In "Biennial Meeting of the ASSBT" (ASSBT, ed.), Vol. 34, pp. 77-79. ASSBT, Salt Lake City, Utah.
- Sims, A. L., Windels, C. E., and Bradley, C. A. (2010). Content and Potential Availability of Selected Nutrients in Field-Applied Sugar Beet Factory Lime. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **41**, 438-453.
- Windels, C. E., Brantner, J. R., Sims, A. L., and Bradley, C. A. (2008). Long-term effect of a single application of factory waste lime on sugar beet and *Aphanomyces* root rot. *Phytopathology* **98**, S172-S172.
- Windels, C. E., Sims, A. L., Brantner, R., and Bradley, C. A. (2004). Reclamation and fertilization of *Aphanomyces*-infested sugarbeet fields amended with industrial spent lime. *Sugarbeet Res. Ext. Rept.*
- Windels, C. E., Sims, A. L., Brantner, R., and Bradley, C. A. (2005). Spent lime effects on *Aphanomyces*, soil microorganisms, and sugarbeet. *Sugarbeet Res. Ext. Rept.* **36**, 250-261.